



11 Numéro de publication: **0 237 448**
B1

12
FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

45 Date de publication du fascicule du brevet: **24.05.89**
 21 Numéro de dépôt: **87420053.8**
 22 Date de dépôt: **23.02.87**
 31 Int. Cl.: **C22F 3/00**

54 **Plèces en aluminium et ses alliages dont une face au moins présente au moins une région de zones résistant à l'usure.**

50 Priorité: **25.02.86 FR 8603304**
 43 Date de publication de la demande: **16.09.87 Bulletin 87/38**
 46 Mention de la délivrance du brevet: **24.05.89 Bulletin 89/21**
 64 Etats contractants désignés: **AT BE CH DE ES GB GR IT LI LU NL SE**
 56 Documents cités:
FR-A- 2 371 520
FR-A- 2 385 610
GB-A- 2 026 649

73 Titulaire: **PECHINEY RECHERCHE (Groupement d'Intérêt Economique régi par l'ordonnance du 21 Septembre 1967), 23, rue Balzac, F-75008 Paris(FR)**
 72 Inventeur: **Leslaz, Gérard, Lotissement "Le Champ Roux", F-38380 St Laurent Du Pont(FR)**
 Inventeur: **Terroni, Serge, 8 bis, chemin du Morand, F-38490 Les Abrets(FR)**
 74 Mandataire: **Vanizer, Marcel et al, PECHINEY 28, rue de Bonnel, F-69433 Lyon Cédex 3(FR)**

EP 0 237 448 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention est relative à des pièces en aluminium et ses alliages dont une face au moins présente au moins une région de zones résistant à l'usure.

EXPOSE DU PROBLEME

L'homme de l'art sait que les pièces en aluminium et ses alliages soumises à des frottements doivent posséder des caractéristiques technologiques telle que, notamment, la résistance à l'usure et la tenue au grippage au moins sur leur face "active", c'est-à-dire celle qui se trouve au contact de la pièce antagoniste. Le plus souvent, ces caractéristiques ne sont nécessaires qu'en de régions représentant une portion seulement de ladite face, et en des zones bien localisées desdites régions.

Ces zones résultent généralement d'un traitement de durcissement superficiel des pièces obtenues par différents moyens.

ART ANTERIEUR

C'est ainsi par exemple, que la demande publiée de brevet français 2 371 520 décrit un procédé de traitement d'une région exposée déterminée d'un article en aluminium ou en un de ses alliages en présence ou non d'un agent d'alliage, avec un faisceau laser ou un faisceau d'électrons de forte énergie (au moins 10.000 watts/cm²) et de diamètre compris entre 250 et 12500 µm, de manière à pouvoir chauffer l'article dans une première zone et à le fondre dans une deuxième zone à l'intérieur de ladite première zone : on crée ainsi une structure à grains fins au moins dans ladite zone, dans le but, entre autres, d'améliorer la résistance à l'usure et d'éliminer ou de réduire les déformations résultant du traitement.

La revendication 24 de ce brevet énonce que "ledit faisceau est déplacé le long de plusieurs trajets séparés et espacés de manière à affecter des zones formant des régions espacées sur la surface exposée dudit article".

De même, la demande publiée de brevet français 2 367 117 revendique "un procédé de traitement d'une surface métallique de portée d'un composant caractérisé en ce qu'il consiste à ne traiter thermiquement que des zones de portée pour modifier leurs propriétés métallurgiques et améliorer leur résistance à l'usure".

Selon un exemple particulier de ce procédé, le traitement est appliqué à une chemise de cylindre en fonte durcie par cémentation et consiste à diriger sur cette dernière un laser émettant un faisceau tel qu'il forme un point d'un diamètre de 3000 µm.

La demande de brevet japonaise publiée sous le n° 59 212 572 enseigne également un procédé de traitement de durcissement de la surface intérieure d'un cylindre de moteur à combustion interne au moyen d'un laser dans lequel le rapport surfacique des zones non traitées aux zones traitées est de préférence compris entre 10 et 70 % et la dimension des zones traitées est de plusieurs mm.

Ces documents enseignent donc que des zones aptes au frottement peuvent être obtenues sur des pièces en traitant thermiquement leur surface de manière à obtenir localement des zones d'une largeur dépassant 250 µm.

La demanderesse cherchant à appliquer de tels enseignements, a constaté en effet qu'on pouvait, certes, obtenir un durcissement localisé aux zones de traitement, mais que dans le cas de l'aluminium et de ses alliages, ce durcissement s'accompagnait en cas de fusion localisée, d'une part, d'une déformation de la pièce telle qu'elle nécessitait un réusinage avant utilisation, d'autre part, parfois de fissurations et d'amorces de criques de fatigue dues aux contraintes superficielles développées par les surchauffes locales résultant du traitement.

BUT DE L'INVENTION

C'est pourquoi, la demanderesse a cherché à mettre au point des pièces en aluminium et ses alliages dont au moins une face est traitée par effet thermique de fusion de manière à développer au moins une région de zones résistant à l'usure et aptes au frottement mais telles qu'elles recèlent très peu de contraintes superficielles susceptibles de développer des fissurations ou autre dégradation lors de leur utilisation et telles également qu'elles puissent être utilisées brutes de traitement, c'est-à-dire sans réusinage, opération onéreuse et délicate sur des parties durcies et qui, par ses effets thermique et mécanique, peut modifier la structure de la zone traitée et, par suite, ses caractéristiques tribologiques.

EXPOSE DE L'INVENTION

Selon l'invention, les pièces en aluminium et ses alliages dont au moins une face présente en surface au moins une région résistante à l'usure constituée par une répartition contrôlée de zones durcies par effet de fusion localisée sont caractérisées en ce que lesdites zones, quelles que soient leur longueur et leur forme, ont une largeur et une profondeur comprises entre 3 et 150 µm et que la fraction surfacique des zones pour chaque mm² d'une région est comprise entre 5 et 60 %.

Ainsi, les faces actives des pièces inventées présentent-elles à leur surface, et en des régions choisies convenablement en fonction de l'usage qu'on veut en faire, des zones durcies répondant aux deux caractéristiques suivantes :

- d'une part, une forme plus ou moins allongée, mais une largeur et une profondeur très faibles comparées aux pièces de l'art antérieur;
- d'autre part, une répartition d'une desdites zones, puisque pour chaque mm^2 de surface appartenant à une région, elles représentent 5 à 80 % de ladite surface, c'est-à-dire qu'elles sont espacées les unes des autres par une distance inférieure à 1 mm.

Outre ces caractéristiques, on a constaté qu'il était intéressant lorsque les zones s'entrecroisaient de limiter la fraction de surface de recouvrement desdites zones pour chaque mm^2 d'une région à 50 % de la surface totale des zones.

Dans ces conditions, on observe que outre l'augmentation importante de la résistance à l'usure provoquée par la présence de zones durcies, les contraintes de déformation provoquées par la fusion-resolidification au niveau des zones étaient beaucoup plus faibles que celles observées sur des zones de largeur et de profondeur plus importantes ou recouvrant plus largement la surface ou encore s'entrecroisant de façon plus fréquente.

De même, on note que les différences de cotes entre les zones et les espaces interzones ne dépassent pas 10 μm , ce qui évite donc tout réusinage des pièces avant utilisation. Autrement dit, le traitement modifie peu le profil géométrique de la pièce traitée et ne fait intervenir qu'une légère modification de la rugosité.

Par ailleurs, la présence d'espaces entre les zones améliore notablement l'aptitude des pièces au frottement en créant en surface et sur une fine échelle une alternance de zones durcies et d'espaces mous, disposition très efficace généralement en résistance à l'usure par adhésion, fatigue ou abrasion et efficace également en frottement puisque les espaces interzones mous constituent des pièges à lubrifiant, voire des pièges aux débris d'usure.

Toutefois, dans la fourchette de largeur et de profondeur des zones revendiquées, on a remarqué qu'il était préférable de s'en tenir aux valeurs comprises entre 10 et 100 μm pour obtenir les meilleurs résultats.

L'invention en elle-même n'impose :

- ni régularité de forme des zones : dans le cas d'une zone de forme quelconque, la notion de largeur citée plus haut peut être définie comme étant deux fois la dimension 1/2 qui conduit dans les techniques dites de squelettisation utilisées en analyse d'image à une disparition de la zone,
- ni une disposition régulière des zones en surface.

L'invention fait en effet intervenir dans son principe l'idée statistique de réduire la largeur et la profondeur des zones et de les séparer, la distribution à l'échelle du mm^2 et la forme des zones ayant un effet de second ordre par rapport à l'effet largeur-profondeur et fraction surfacique.

Toutefois, pour des raisons de commodité de création de ces zones à la surface des pièces, l'invention englobe également les zones disposées régulièrement à la surface des pièces sous forme des réseaux périodiques ou quasi périodiques de bandes dont la largeur et la profondeur sont évidemment comprises entre 3 et 150 μm .

C'est ainsi que les zones peuvent être disposées sous forme de bandes continues séparées les unes des autres par une distance comprise entre 20 et 1000 μm , ces bandes ayant soit une direction quelconque, soit figurant au moins un réseau de bandes parallèles. Mais ces zones peuvent être également disposées sous forme de bandes discontinues séparées suivant leur longueur et les unes des autres par une distance comprise entre 20 et 1000 μm ; ces bandes ayant comme précédemment soit une direction quelconque, soit figurant au moins un réseau de bandes parallèles.

L'invention s'applique en particulier à tout alliage d'aluminium, dont les propriétés tribologiques sont susceptibles d'être améliorées par un traitement de fusion superficielle. Elle s'applique également à toutes les pièces où les zones sont constituées par un alliage d'aluminium fondu avec un élément d'apport ou un composé d'apport tel que ledit alliage ait de meilleures propriétés tribologiques que l'alliage de base. Cet élément peut être par exemple du fer ou du nickel.

Les zones répondant aux caractéristiques de l'invention peuvent être obtenues par tout procédé permettant de modifier localement par fusion-resolidification la nature ou la structure de la surface de la pièce sur une faible profondeur et sur une faible largeur de manière à lui conférer par effet thermique et/ou chimique une meilleure aptitude au frottement.

On peut citer notamment l'utilisation de rayonnements de haute énergie tels que les faisceaux d'électrons et les rayonnements laser convenablement focalisés de manière à créer par fusion des zones de largeur et de profondeur inférieures à 150 μm .

L'obtention de bandes axiales, circulaires ou hélicoïdales ou tout autre forme peut être facilement réalisée en commandant le déplacement relatif de la pièce et du faisceau par l'intermédiaire d'un microprocesseur.

Par exemple, avec un faisceau laser argon classique d'une puissance de 18 watts suffisamment focalisé pour atteindre une densité de puissance supérieure à $1.10^5 \text{ watts/cm}^2$, on a pu réaliser à la surface de pièces en alliage d'aluminium-silicium un réseau à mailles carrées formé de bandes de largeur 30 μm séparées les unes des autres par une distance de 100 μm et ceci en exposant les pièces à l'action du fais-

ceau pendant moins de 1.10^{-4} seconde et en déplaçant le faisceau par rapport à la pièce de manière à lui faire décrire une série de trajectoires parallèles dans deux directions perpendiculaires. Mais on peut également utiliser des sources d'énergie capables d'émettre un grand nombre de faisceaux ce qui permet une réalisation plus pratique du réseau.

On a ainsi créé à fine échelle un ensemble de zones traitées de faibles dimensions (largeur $< 150 \mu\text{m}$) séparées les unes des autres et formé une surface constituée d'un matériau dur enchâssé dans une matrice plus molle. Les pièces ainsi traitées ne présentaient qu'une déformation mineure du profil de surface, ceci évitant un réusinage; leur application à une chemise de moteur en alliage d'aluminium n'a entraîné aucune dégradation par libération de contraintes et leur comportement tribologique au contact du piston/segment a été meilleur que celle des chemises dont toute la surface avait été traitée avec des faisceaux créant des zones de largeur $3000 \mu\text{m}$.

L'invention peut être illustrée à l'aide des dessins ci-joints qui représentent en ce qui concerne les figures 1, 2 et 3, différentes dispositions de zones réalisées suivant l'invention sur une région d'une face active d'une pièce tandis que la figure 4 se rapporte à une microphotographie d'une portion de région d'une pièce suivant l'invention et les figures 5, 6 et 7 à des coupes micrographiques de pièces suivant l'art antérieur (fig. 5 et 7) et suivant l'invention (fig. 6).

Plus précisément :

la figure 1 représente des zones (1) de forme et de largeur quelconques réparties de façon quelconque mais qui ont toutes une largeur comprise entre 10 et $100 \mu\text{m}$ et une fraction surfacique pour chaque mm^2 de surface comprise entre 5 et 60% .

La figure 2 représente des zones disposées régulièrement suivant un réseau à mailles carrées constitué de bandes (2) d'une largeur de $40 \mu\text{m}$ espacées les unes des autres de $360 \mu\text{m}$.

La figure 3 représente des zones ponctuelles (3) d'une dimension de $50 \mu\text{m}$ espacées les unes des autres de $100 \mu\text{m}$.

La figure 4 est une microphotographie au grossissement 100 de zones réparties suivant des bandes de $40 \mu\text{m}$ de large espacées les unes des autres de $200 \mu\text{m}$ et s'entrecroisant à angle droit et qui sont obtenues sur des pièces en alliage d'aluminium du type A-S17U4G (silicium 17% - cuivre 4% - magnésium < 1% - solde aluminium).

Les figures 5, 6 et 7 seront commentées dans l'exposé de l'exemple qui suit.

EXEMPLE D'APPLICATION

Des pièces en A-S5U3 (c'est-à-dire contenant en poids 5 % de silicium, 3 % de cuivre et le solde en aluminium et impuretés) et en A-S17U4G (17% Si, 4% Cu, < 1% Mg) élaborées de la même façon ont été partagées en deux lots numérotés 1 et 2 comprenant l'un et l'autre les deux types d'alliage.

Le lot 1 a été soumis à un traitement laser pour obtenir des zones suivant l'art antérieur et le lot 2 à un autre traitement laser pour obtenir des zones suivant l'invention.

Les conditions de ces traitements sont les suivantes :

	Lot 1	Lot 2
Faisceau laser	CO ₂	Ar
Puissance (watts)	2500	18
Largeur du faisceau (μm)	1000	20
Densité de puissance (watts/cm^2)	$2,5 \times 10^6$	7×10^6
Durée de traitement (sec)	8/100	1/40
Largeur de la zone traitée (μm)	≈ 3000	≈ 40
Profondeur de la zone traitée (μm)	≈ 2600	≈ 20

Les constatations suivantes ont été faites :

Du point de vue relief :

sur le lot 1 (fig. 5) qui représente, vue en coupe et au grossissement 25 une zone (4), on observe un relief macroscopique s'étendant sur toute la largeur de la zone et dont l'amplitude atteint $100 \mu\text{m}$, ce qui oblige à réusinier la pièce.

au contraire, sur le lot 2 (fig. 6) qui représente, vue en coupe, et au grossissement 1000 une zone (5), on n'observe aucun relief macroscopique. Seule la microrugosité est légèrement affectée mais elle ne nécessite aucun réusinage.

Sur ces figures 5 et 6, on note également un changement radical de structure qui permet une localisation précise de la zone et la mesure de ses dimensions.

Sur les 2 lots, on a mesuré une dureté Vickers supérieure à 200 dans la zone et de 80 entre les zones.

En conséquence, les pièces suivant l'invention et qui possèdent donc des zones de faible largeur et de faible profondeur présentent un taux de déformation du profil de surface tel qu'il n'est plus nécessaire de les usiner.

D'autres pièces du même type ont été préalablement revêtues d'un film de fer par électrolyse en quantité telle qu'elle permettrait après fusion de réaliser en surface un alliage à 15 % de fer.

Ces pièces ont été partagées également en 2 lots qui ont subi les mêmes traitements que ceux décrits plus haut, sauf en ce qui concerne la disposition des zones traitées.

En effet, la surface des pièces du lot 1 a été traitée suivant des bandes parallèles unidirectionnelles se chevauchant (lot 1A) ou non (lot 1B) : distance entre bande 2000 μm alors que celle du lot 2 a été traitée suivant un réseau de bandes parallèles se croisant à angle droit et distantes les unes des autres de 200 μm .

L'examen micrographique des surfaces a montré que dans certains cas les zones traitées des lots 1A et 1B présentaient des fissurations (6) (fig.7) alors que celles du lot 2 (fig.6) en étaient dépourvues.

Dans une autre série d'essais, on a remplacé le fer par un dépôt galvanique de nickel et on a soumis les pièces des 2 lots à des mesures de frottement-usure au moyen du tribomètre CAMERON-PLINT.

Ce tribomètre est constitué par un segment en fonte chromée qui appuie sur la surface à contrôler et qui est animé d'un mouvement alternatif de façon à simuler approximativement le frottement qui se produit entre les segments insérés dans le piston et la chemise d'un moteur à combustion interne.

Dans le cas présent, la charge d'appui était de 100 N, la température de la pièce de 100°C, la fréquence du mouvement de 12 Hz et la durée d'essai de 30 mn. La surface était au préalable lubrifiée avec une huile du type Neutral 150.

Les pièces du lot 1 se sont dégradées rapidement (détachement de débris de grandes dimensions > 1 μm de la surface traitée). Il en a été de même du segment en fonte chromée.

Quant aux pièces du lot 2, elles n'ont donné lieu à aucune dégradation visible ni perte de poids mesurable.

La présente invention trouve son application dans la fabrication de pièces en aluminium et ses alliages destinées à être soumises à des frottements telles que par exemple les pièces mécaniques (chemises de moteurs et pistons, sièges de soupapes, tambours et disques de freins, poulies crantées de transmission, filières, engrenages, coussinets, portées d'arbres d'entraînement, roulements à billes, etc...) et des pièces électriques de contact où on combine frottement et passage du courant électrique (connectique, contact glissant, collecteur de moteur électrique, etc...).

Revendications

1. Pièces en aluminium et ses alliages dont au moins une face présente en surface au moins une région résistante à l'usure constituée par une répartition contrôlée de zones durcies par effet de fusion localisée caractérisées en ce que ces zones, quelles que soient leur longueur et leur forme, ont une largeur et une profondeur comprises entre 3 et 150 μm et que la fraction surfacique des zones pour chaque mm^2 d'une région est comprise entre 5 et 60 %.

2. Pièces suivant la revendication 1 caractérisées en ce que lorsque les zones s'entrecroisent, la fraction surfacique de recouvrement desdites zones pour chaque mm^2 d'une région est inférieure à 50 % de la surface totale des zones.

3. Pièces selon la revendication 1 caractérisées en ce que les zones ont une largeur et une profondeur comprises entre 10 et 100 μm .

4. Pièces selon la revendication 1 caractérisées en ce que les zones sont disposées sous forme de bandes continues de direction quelconque et séparées les unes des autres par une distance comprise entre 20 et 1000 μm .

5. Pièces selon la revendication 4 caractérisées en ce que les zones sont disposées sous forme d'au moins un réseau de bandes parallèles.

6. Pièces selon la revendication 1 caractérisées en ce que les zones sont disposées sous forme de bandes discontinues, de direction quelconque, séparées suivant leur longueur et les unes des autres par une distance comprise entre 20 et 1000 μm .

7. Pièces selon la revendication 6 caractérisées en ce que les zones sont disposées sous forme d'au moins un réseau de bandes parallèles.

8. Pièces selon la revendication 1 caractérisées en ce qu'elles sont constituées par un alliage dont les propriétés tribologiques sont susceptibles d'être améliorées par un traitement de fusion superficielle.

9. Pièces selon la revendication 1 caractérisées en ce que les zones sont constituées par un alliage de métal de base avec un élément ou un composé d'apport tel que ledit alliage ait de meilleures propriétés tribologiques que le métal de base.

10. Pièces selon la revendication 9 caractérisées en ce que le composé d'apport appartient à la famille du fer ou du nickel.

11. Procédé d'obtention de pièces métalliques selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'on applique un rayonnement laser focalisé de manière à créer par fusion des zones de largeur et de profondeur inférieures à 150 µm.

5 Patentansprüche

1. Werkstücke aus Aluminium und seinen Legierungen, deren wenigstens eine Fläche an der Oberfläche wenigstens einen verschleißfesten Bereich aufweist, der aus einer gesteuerten Verteilung von durch örtliche Schmelzwirkung gehärteten Zonen gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß diese Zonen, welche auch immer ihre Länge und ihre Form seien, eine Breite und eine Tiefe im Bereich von 3 bis 150 µm haben und daß der Oberflächenanteil der Zonen für jedes mm² eines Bereichs im Bereich von 5 bis 60% ist.
2. Werkstücke nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn sich die Zonen kreuzen, der Überlappungsflächenanteil dieser Zonen für jedes mm² eines Bereichs unter 50% der Gesamtoberfläche der Zonen ist.
3. Werkstücke nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen eine Breite und eine Tiefe im Bereich von 10 bis 100 µm haben.
4. Werkstück nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen in Form zusammenhängender Streifen beliebiger Richtung angeordnet und voneinander durch einen Abstand im Bereich von 20 bis 1000 µm getrennt sind.
5. Werkstücke nach dem Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen in Form wenigstens eines Netzes paralleler Streifen angeordnet sind.
6. Werkstücke nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen in Form unzusammenhängender Streifen beliebiger Richtung angeordnet sind, die in ihrer Längsrichtung und voneinander durch einen Abstand im Bereich von 20 bis 1000 µm getrennt sind.
7. Werkstücke nach dem Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen in Form wenigstens eines Netzes paralleler Streifen angeordnet sind.
8. Werkstücke nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer Legierung gebildet sind, deren Reibungseigenschaften durch eine oberflächliche Aufschmelzbehandlung verbessert sind.
9. Werkstücke nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen aus einer Basismetalllegierung mit Zusatz eines Elements oder einer Verbindung der Art bestehen, daß diese Legierung bessere Reibungseigenschaften als das Basismetall hat.
10. Werkstücke nach dem Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzverbindung zur Gruppe des Eisens oder des Nickels gehört.
11. Verfahren zum Erhalten von metallischen Werkstücken nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man eine derart fokussierte Laserstrahlung verwendet, daß durch Schmelzen Zonen einer Breite und einer Tiefe unter 150 µm geschaffen werden.

40 Claims

1. Castings made from aluminium and its alloys, whereof at least one face has on the surface at least one wear-resistant region constituted by a controlled distribution of zones hardened by a local melting effect, characterized in that said zones, no matter what their length and shape, have a width and depth between 3 and 150 µm and the surface fraction of the zones for each mm² of a region is between 5 and 60%.
2. Castings according to claim 1, characterized in that when the zones intersect, the overlapping surface fraction of said zones is less than 50% of the total surface of the zones for each mm² of a region.
3. Castings according to claim 1, characterized in that the zones have a depth and width between 10 and 100 µm.
4. Castings according to claim 1, characterized in that the zones are arranged in the form of continuous bands with a random direction and separated from one another by a distance between 20 and 1000 µm.
5. Castings according to claim 4, characterized in that the zones are arranged in the form of at least one network of parallel bands.
6. Castings according to claim 1, characterized in that the zones are arranged in the form of discontinuous bands, having a random direction and separated in accordance with their length and from one another by a distance between 20 and 1000 µm.
7. Castings according to claim 6, characterized in that the zones are arranged in the form of at least one network of parallel bands.
8. Castings according to claim 1, characterized in that they are formed from an alloy, whose tribological properties can be improved by a surface melting treatment.
9. Castings according to claim 1, characterized in that the zones are formed from a base metal alloy with an addition element or compound such that the alloy has better tribological properties than the base metal.

10. Castings according to claim 9, characterized in that the addition compound is iron or nickel.
11. A process for obtaining metal castings according to claim 1, characterized in that focused laser radiation is applied so as to produce by melting zones having a width and depth less than 150 μm .

5

10

15

20

25

30

35

40

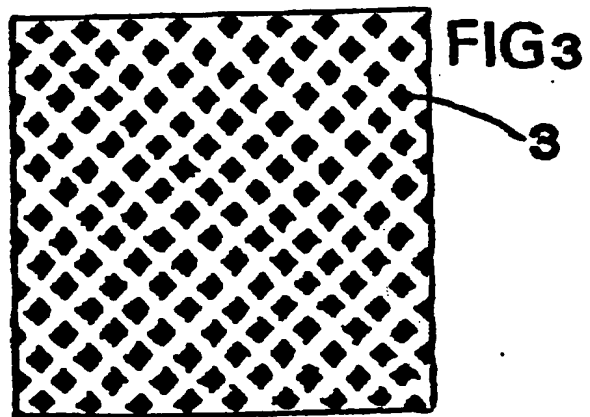
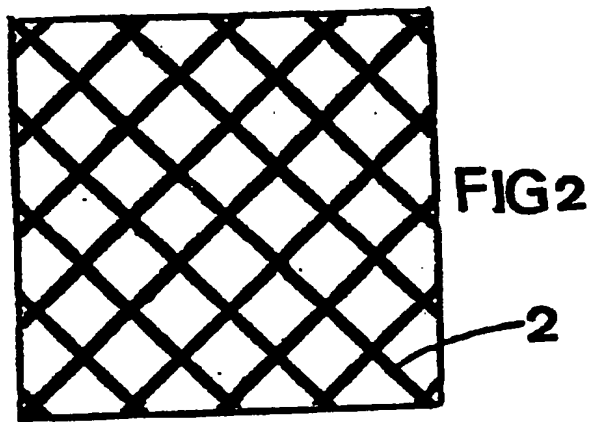
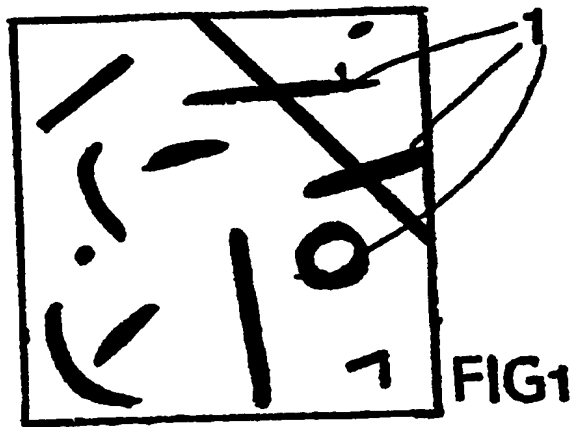
45

50

55

60

65



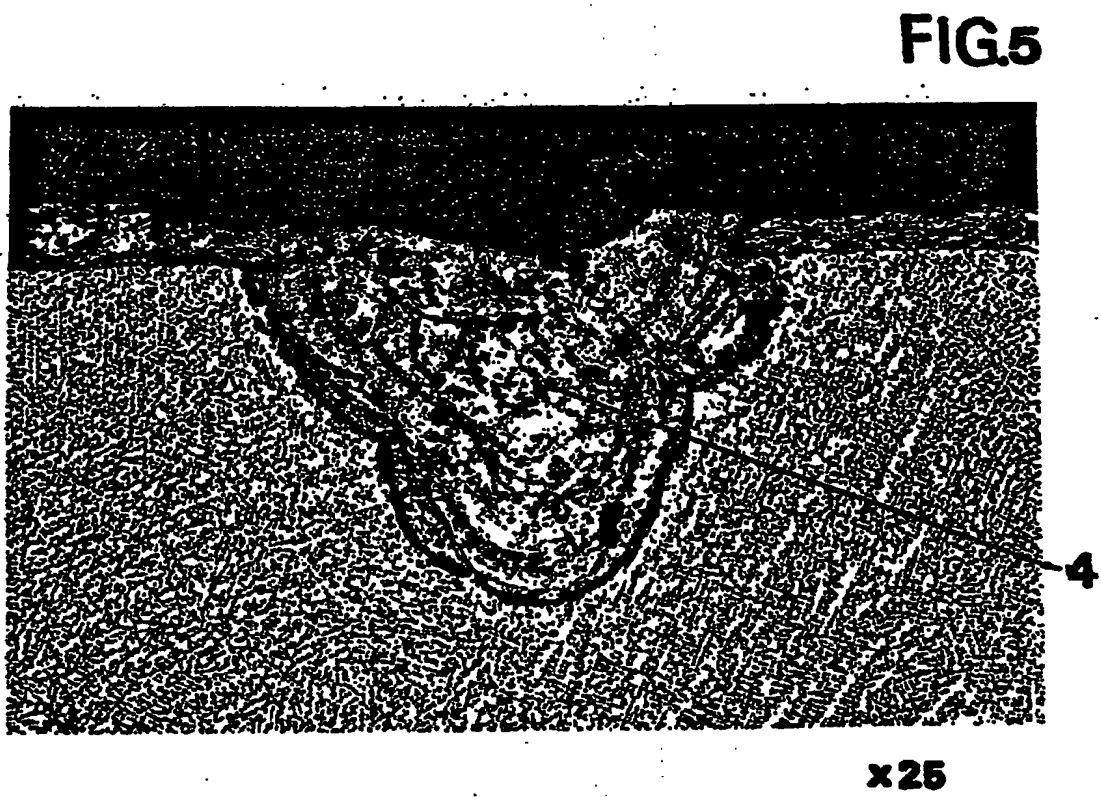
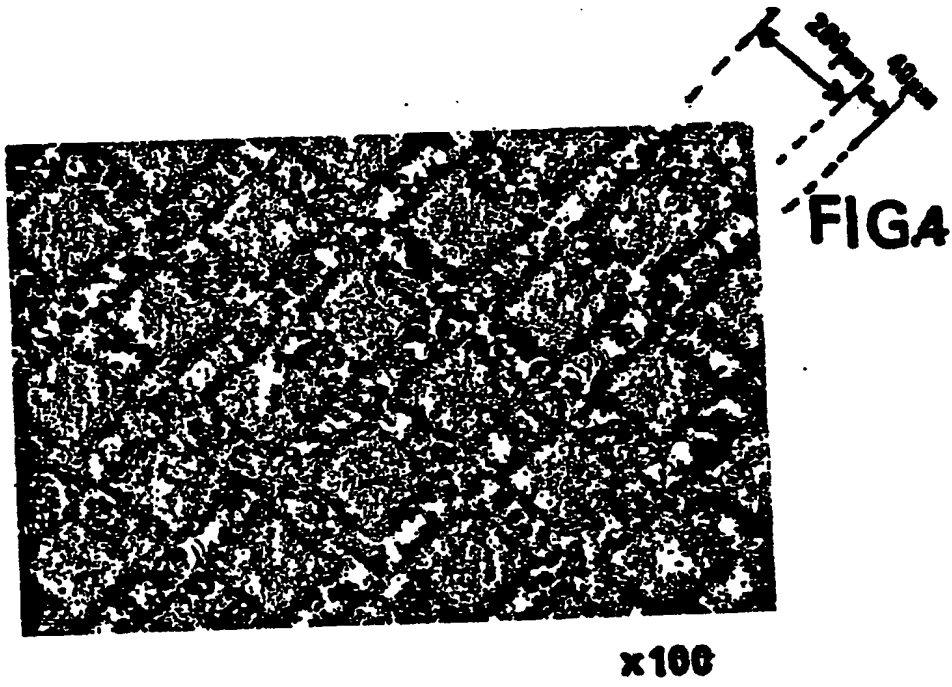
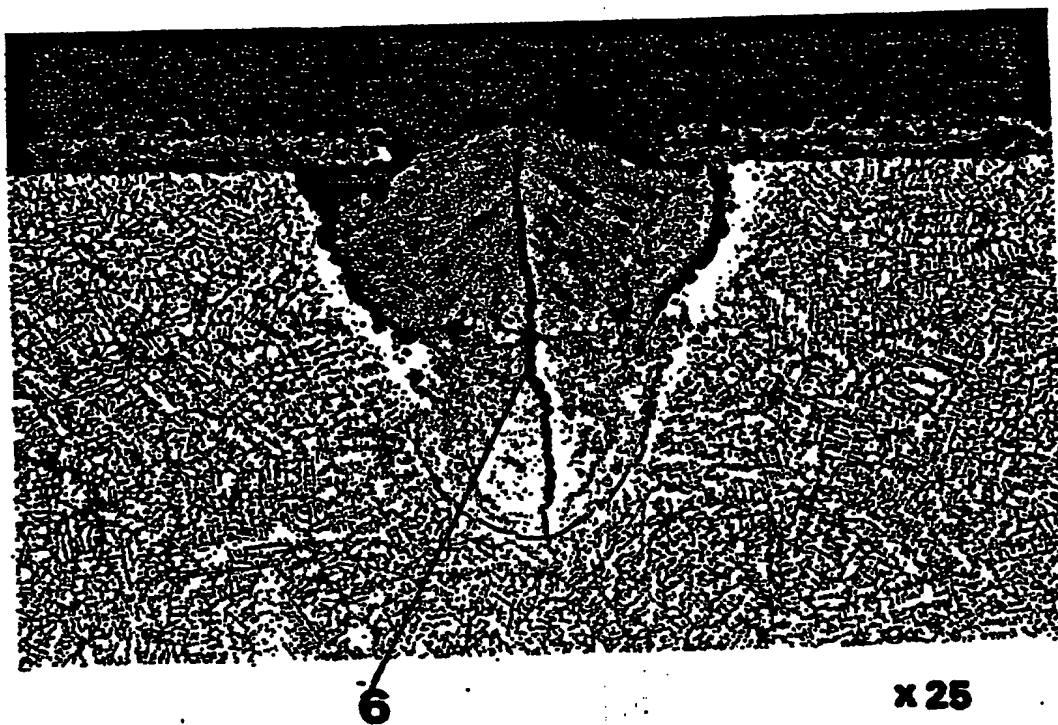


FIG.6



x 1000

FIG.7



x 25

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.